



**RAN e i servizi di augmentation per la mobilità sostenibile**

**Prof. Ing. Alessandro NERI**

[alessandro.neri@radiolabs.it](mailto:alessandro.neri@radiolabs.it)



# CONTENUTI

- REQUISITI DEL SISTEMA DI POSIZIONAMENTO E NAVIGAZIONE
- SISTEMI DI NAVIGAZIONE AD ALTA INTEGRITÀ
  - Fonti d'errore
  - Mitigazione delle fonti d'errore globali
- LA RETE DI AUGMENTATION NAZIONALE
- CONCLUSIONI



# Il progetto RAN



Finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI)

call for proposals Lotto #5 Rete di Augmentation Nazionale – CIG:  
94136955ADB

Inizio del progetto: 4 febbraio 2025

Durata: 24 mesi

## Membri del Raggruppamento





# Introduzione

- L'evoluzione del concetto di guida autonoma verso quello di guida coordinata e cooperante è un elemento portante di una nuova sostenibilità dei sistemi di trasporto.
- Il posizionamento GNSS è una tecnologia abilitante per il nuovo paradigma
- Elemento distintivo rispetto ad altre applicazioni è l'attributo di **sicurezza (safety)**
- Nel caso UAM La sfida principale per la sicurezza è la disponibilità di dispositivi **ANTI-COLLISIONE** leggeri, a bassa potenza e basso costo, certificati, in grado di supportare avionica avanzata, volo a bassa quota e sensori meteo




$$Pr\{|\boldsymbol{\varepsilon}_H| \geq \text{HPL} \} \leq \text{IR}_H$$
$$Pr\{|\boldsymbol{\varepsilon}_V| \geq \text{VPL} \} \leq \text{IR}_V$$

**Protection Level:** semiampiezza dell'intervallo di confidenza associato all'Integrity Risk allocato alla funzione



Application	Operational Scenario	Safety Integrity Level (*)	Accuracy (2 $\sigma$ )	Confidence Interval/Alert Limit	Time To Alert (*)	Availability
<b>Rail</b>	<b>Constant or variable speed Stopping in a Precise Location Start of Mission</b>	<b>10<sup>-9</sup>/h</b>	<b>5m</b>	<b>60 m (1D) (in area with negligible constraints)  10 m (1D) (train stopping in area with constraints)</b>	<b>5 s</b>	<b>99.998%</b>
<b>Auto</b>	Road User Toll Gate systems	10 <sup>-6</sup> /h	3 m	-	1 s	99.5%
<b>Auto</b>	Safety Critical Automated Driving	10 <sup>-6</sup> /h	20 cm	-	5 s	95%
<b>Auto</b>	Automated driving on highway	10 <sup>-6</sup> /h	35 cm	75 cm	5 s	99.9%
<b>Auto</b>	Automated driving on local road	10 <sup>-6</sup> /h	20 cm	45 cm	5 s	95%

(\*) to be met at system level through apportionment among relevant architectural components



# Requisiti (H2020 HELMET)



UAV Typical Flight Operation / Flight Phase	Accuracy Horizontal 95%	Accuracy Vertical 95%	Integrity	Time-to-Alert	Continuity	Availability
En-route	3.7 km (2.0NM)	N/A	$1 - 1 \times 10^{-7}/h$	5 min	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
Arrival (Landing)	0.74 km (0.4NM)	N/A	$1 - 1 \times 10^{-7}/h$	15 s	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
Approach, Departure (Take-off)	220 m (720 ft)	N/A	$1 - 1 \times 10^{-7}/h$	10 s	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
Field Approach Operations	16.0 m (52 ft)	20 m (66 ft)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ in any approach	10 s	$1 - 8 \times 10^{-6}$ per 15 s	0.99 to 0.99999
Precision Approach (PIT Station Approach)	16.0 m - 4m	6.0 m to 4.0 m (20 ft to 13 ft)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ in any approach	6 s	$1 - 8 \times 10^{-6}$ per 15 s	0.99 to 0.99999
MONITORING MISSION (RAIL/AUTOMOTIVE)						
Position/Navigation (Urban/Non-Urban)	1 m /10m	1 m /10m	$1 - 2 \times 10^{-7}$	1s (HOT)-6s (COLD)	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.95-0.99
GEO-Awareness	1m	1m	$1 - 2 \times 10^{-7}$	1s (HOT)-6s(COLD)	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.95-0.99
INSPECTION MISSION (RAIL/AUTOMOTIVE)						
Position/Navigation (Urban/Non-Urban)	1 m /10m	1 m /10m	$1 - 2 \times 10^{-7}$	1s (HOT)-6s(COLD)	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.95-0.99
GEO-Awareness	1m	1m	$1 - 2 \times 10^{-7}$	1s (HOT)-6s(COLD)	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.95-0.99
TRAFFIC MANAGEMENT MISSION						
Position/Navigation (Urban/Non-Urban)	10m / 30m	10m / 30m	$1 - 2 \times 10^{-7}$	1s (HOT)-10 s(COLD)	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.95 to 0.99
GEO-Awareness	1m	1m	$1 - 2 \times 10^{-7}$	1s (HOT)-6s(COLD)	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.95 to 0.99



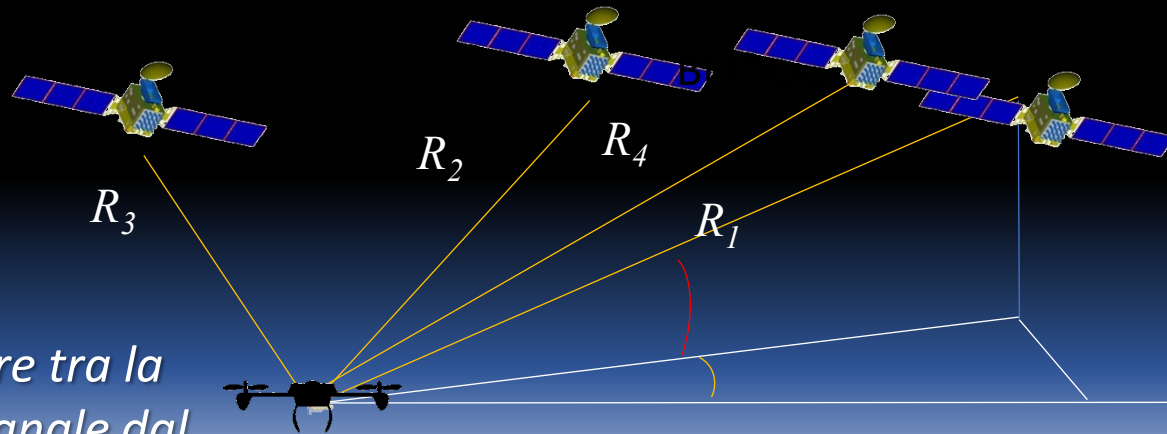
# LOCALIZZAZIONE SATELLITARE

## Incognita:

- Posizione 3D
- Errore orologio Rx

## Misura:

- Tempo che intercorre tra la trasmissione del segnale dal satellite e la sua ricezione

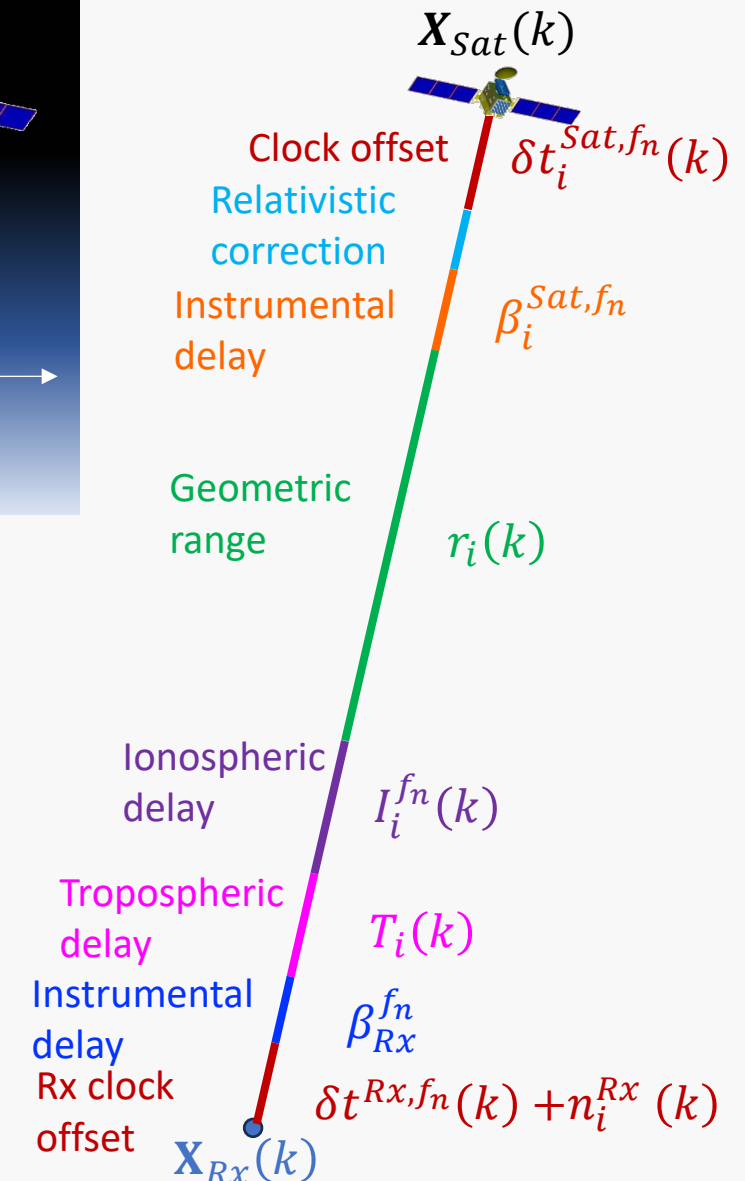


## Fonti d'errore (globali)

- Scostamento tra **posizione vera** e **nominale** del **satellite**
- Scostamento tra gli **orologi** dei **satelliti**
- Scostamento tra la **velocità** del segnale nel vuoto e in **ionosfera**
- Scostamento tra la **velocità** del segnale nel vuoto e in **troposfera**

## Mitigazione

- uso di ricevitori ausiliari (**RIM**) in posizione nota (**rete di Augmentation**)

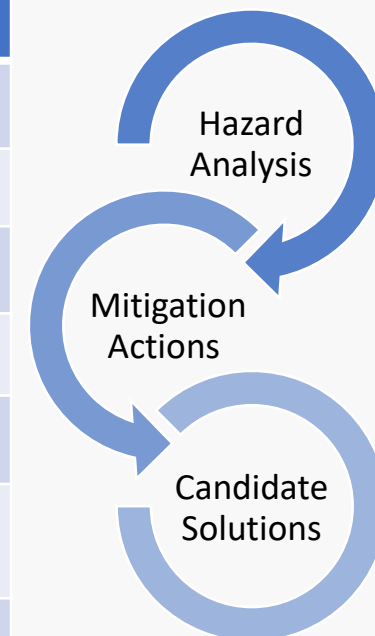




# Mitigazione degli errori



Hazards	Mitigations
Clock runoffs	SBAS & LADGNSS & Galileo HAS
Ephemeris Faults	SBAS & LADGNSS & Galileo HAS
Ionospheric storms	LADGNSS (multifrequency)
Signal Distortions	SBAS & LADGNSS
Constellation Rotations	SBAS & LADGNSS
<b>Multipath, Fading, Antenna obscuration</b>	<b>Autonomous Integrity Monitoring</b>
<b>Jamming, Spoofing</b>	<b>DBF + High Resilience DSP Autonomous Integrity Monitoring</b>

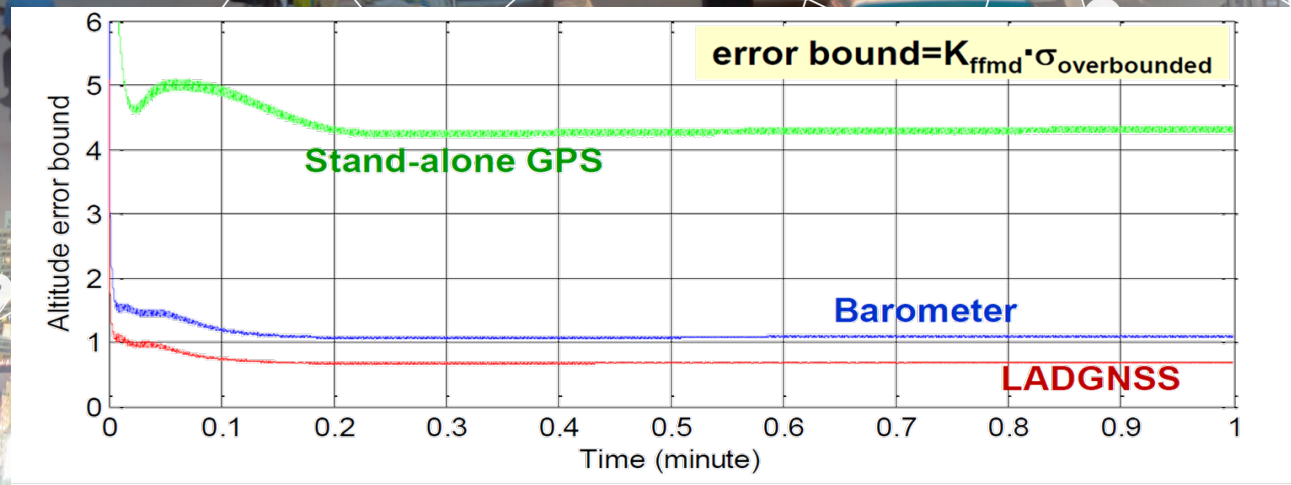


- I sistemi SBAS non possono mitigare gli azzardi locali perchè le stazioni di riferimento SBAS possono trovarsi anche a un centinaio di km.
- Le soluzioni GBAS, per loro natura, non sono adatte per gli UAV, poichè non forniscono una mitigazione efficace contro fading, antenna obscuration, multipath, jamming e spoofing
  - I piccoli UAV hanno dinamiche e risentono delle raffiche di vento in modo molto diverso dai grossi aerei
  - Per operazioni a quote <50 m la presenza del **multipath** non può essere trascurata



# Mitigazioni degli azzardi locali

- Advanced RAIM
  - Fault detection and Exclusion
  - Solution Separation
  - Local Hazard Causes Maps
- Multi-Sensor Positioning
  - IMU,
  - Imaging & Visual Odometry
  - LIDAR, ...



Fonte: J. Lee, J. Lee, S. Pullen, SCPNT 2015



## DRIVERS



Condivisa con altre applicazioni (Treni, Automotive, Maritime, UAM)

Requisiti (SIL-4)



Costo/Efficacia



Disponibilità



### Sistema Multiconstellazione a più livelli

- **1° livello:** Rete di Augmentation e monitoraggio su area vasta (**EGNOS** in EU, WAAS in U.S.A.)
- **2° livello:** : Network RTK , PPP, o PPP RTK basato su componenti COTS (a basso costo)

Il corretto funzionamento del 2° livello e l'integrità del segnale GNSS SIS sono monitorati tramite l'elaborazione congiunta dei dati forniti dai ricevitori dei due livelli



- Caratteristiche Servizi differenziati**
- DGNSS, RTK, NRTK, SSR, PPP
  - Servizi on demand
  - Conformità agli standard internazionali







Reti diverse per evitare la dipendenza da una singola tecnologia, aumentare la resilienza e sfruttare la sinergia con il settore automobilistico

- Layer 1:
  - EGNOS SBAS Augmentation Messages
  - EGNOS SBAS SBAS RIMS
  - **Galileo HAS Augmentation Messages**
- Layer 2:
  - RAN Local Augmentation Networks
- Layer 3:
  - Stazioni di riferimento per reti geodetiche (ad esempio IGS, EUREF, ecc.)
- Layer 4:
  - Stima dell'Errore Locale dell'Utente
  - Dati di monitoraggio utente (interferenze EM, Multipath locale, ecc.) per la modellazione centralizzata, stima degli errori e FDE (Rilevamento ed Esclusione di Guasti)

## Global Hazards Monitoring & Fault Detection and Exclusion

- Satelliti, Costellazioni,
- Componenti RAN

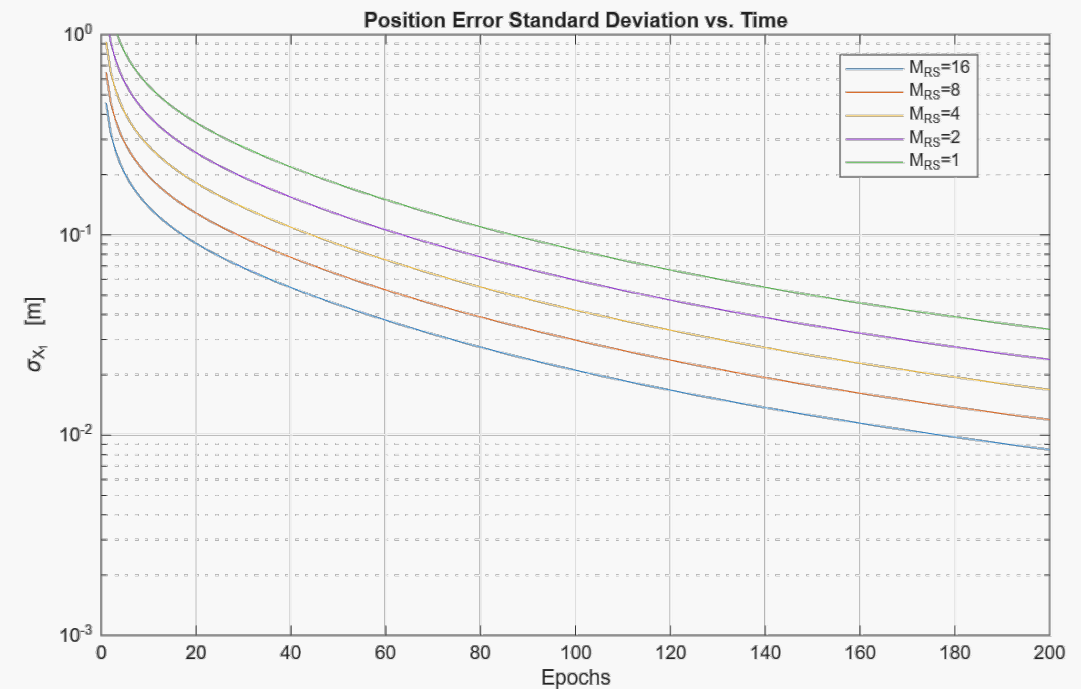
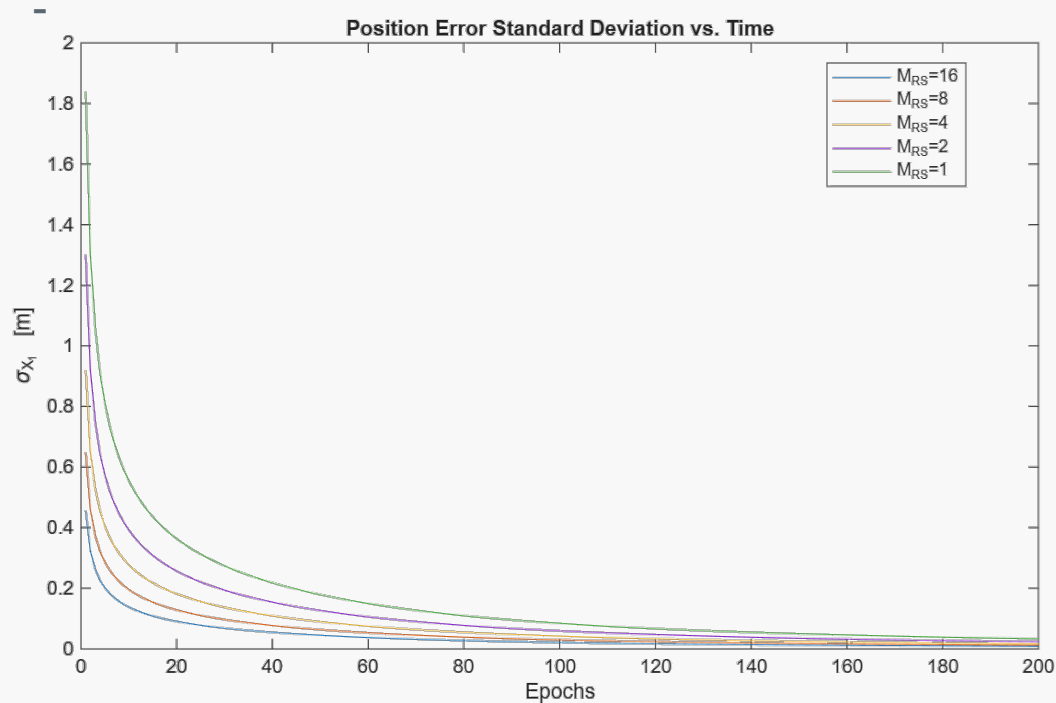
## Local Hazards Monitoring & Fault Detection and Exclusion

- Satelliti, Costellazioni



# MULTIBASELINE (PPP)-RTK

- Uso del layer 3 costituito da RSU delle smart road





# CONCLUSIONI

- Le architetture **MULTI-COSTELLAZIONE** offrono un alto grado di flessibilità per raggiungere un elevato livello di Safety [SIL-4]
- La disponibilità di una rete di Augmentation è di importanza vitale per ridurre il Protection Level.
- La definizione di uno standard per il Sistema di Overlay per la Navigazione ad Alta Integrità è un fattore di successo per la diffusione delle tecnologie GNSS nel campo UAS,
- **La CONDIVISIONE DELLE INFRASTRUTTURE DI SUPPORTO** (i.e., augmentation) e del sistema di navigazione di bordo, inclusi i nuovi sviluppi come l'Advanced Receiver Autonomous Integrity Monitoring (ARAIM), tra **UAS, treni, auto, e navi** è l'elemento chiave per la sostenibilità economica.
- La definizione di una roadmap strategica per l'adozione di un procedura **COMUNE** per la **CERTIFICAZIONE** delle applicazioni ad alta integrità è di interesse primario.



# Augmentation Messages



conformi ai ricevitori commerciali basati su RTCM SC104 e al nuovo RTCM SC 134

## *Minimum Integrity Messages*

- Satellite Health Status and Monitoring Status masks
- Constellation Health Status and Monitoring Status masks
- Frequency Integrity Flags
- Augmentation Service Level (Dynamic Monitoring)

## *Extended Integrity Messages*

- Pconst, Psat, Paug
- MFD
- TTA (including the Communication System contribution)
- Overbounding parameters (standard deviations, phase and code biases)
- Residual Ionospheric and tropospheric error standard deviation



**Questi dati sono fondamentali  
per valutare la safety**



# Riserva

---



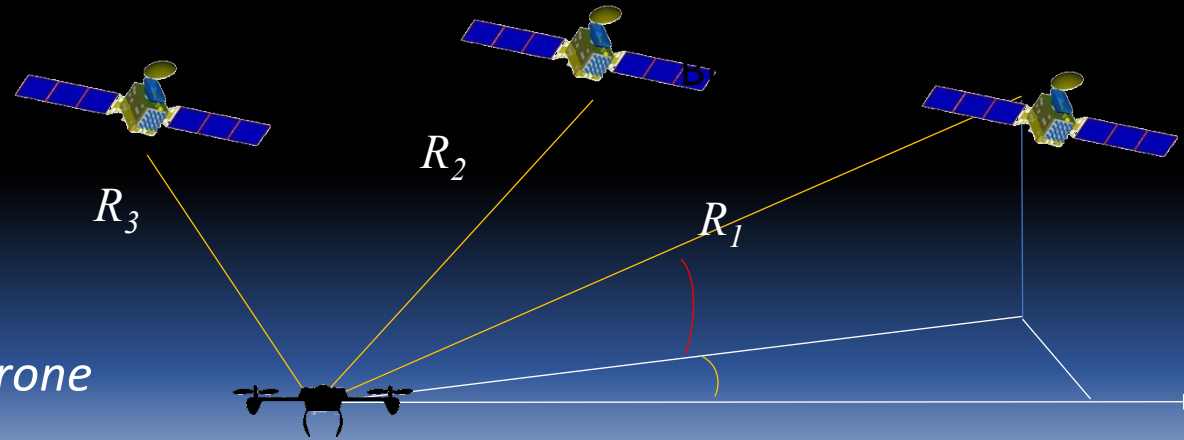
# LOCALIZZAZIONE SATELLITARE (caso IDEALE)

## Incognita:

- *Posizione 3D*

## Misura:

- *Distanza satellite-drone*



**POSIZIONE DEL DRONE:** determinata dall'**intersezione** di **tre sfere** di raggi  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  e centri nelle posizioni delle antenne dei satelliti

**DISTANZA SATELLITE-DRONE:** Stimata a partire dal **TEMPO** che il segnale trasmesso dal satellite impiega per arrivare al ricevitore



# RAN - Caratteristiche principali

- Nuova rete multimodale di augmentation GNSS per applicazioni ferroviarie, automobilistiche, marittime e UAS ad alta precisione e alta integrità
- Uso di diverse Tecnologie per differenziare i servizi, sfruttare sinergie ed evitare la dipendenza da una singola tecnologia
  - DGNSS
  - Networked RTK
  - PPP-RTK
- Utilizzo e Rilancio delle correzioni SBAS e Galileo HAS
- Innovativo sistema multilivello di rilevamento ed esclusione dei guasti (SBAS/Galileo HAS, Aumento Locale, Reti Geodetiche, Monitoraggio degli Errori degli Utenti)
- Conformità al nuovo standard RTCM SC134 «Integrità per applicazioni ad alta precisione basate su GNSS» e approccio ARAIM generalizzato che trasmette parametri innovativi (ad esempio parametri di sovraccarico codice e fase, area di servizio, parametri di integrità velocità, TTA, correlazione temporale)



# Reference Architecture

